

表面肌电图在脑卒中上肢康复中的应用

曹智红*, 高登山, 李水琴#

西安医学院第一附属医院康复医学科, 陕西 西安

收稿日期: 2024年1月18日; 录用日期: 2024年2月11日; 发布日期: 2024年2月19日

摘要

在当前全球脑卒中发病率持续上升的背景下, 如何有效地提高脑卒中患者的生活质量和康复效果成为了一个重要的研究课题。脑卒中后可出现一系列的功能障碍, 上肢功能障碍是脑卒中的常见并发症之一。表面肌电图(sEMG)主要采取在皮肤表面放置电极记录肌肉活动时产生电信号的方法, 可无创、实时、客观地记录神经肌肉的活动状态, 虽然目前常用的量表评估有着简便易行的优点, 但也存在较大的主观意识, 因此表面肌电图对脑卒中后上肢功能康复疗效的评估具有积极意义, 在临床上具有广阔的应用前景。本文以表面肌电图为研究对象, 主要从常用指标、临床意义以及在脑卒中上肢功能康复的应用与挑战展开论述, 为后续的临床研究提供指导。

关键词

表面肌电图, 脑卒中, 上肢康复

Application of Surface Electromyography in Upper Limb Rehabilitation after Stroke

Zhihong Cao*, Dengshan Gao, Shuiqin Li#

Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

Received: Jan. 18th, 2024; accepted: Feb. 11th, 2024; published: Feb. 19th, 2024

Abstract

Under the background of the increasing incidence of stroke worldwide, how to effectively improve the quality of life and rehabilitation effect of stroke patients has become an important research topic. A series of functional disorders can occur after stroke, and upper limb dysfunction is one of

*第一作者。

#通讯作者。

the common complications of stroke. Surface electromyography (sEMG) mainly adopts the method of placing electrodes on the surface of the skin to record electrical signals generated during muscle activity, which can record the activity state of neuromuscular noninvasive, real-time and objective. Although the commonly used scales have the advantages of simple and easy to perform, there is also great subjective consciousness. Therefore, surface electromyography has a positive significance in the evaluation of upper limb functional rehabilitation after stroke, and has broad application prospects in clinical practice. This article takes surface electromyography as the research object, and mainly discusses the common indicators, clinical significance, and application and challenges in the rehabilitation of upper limb function after stroke, so as to provide guidance for subsequent clinical research.

Keywords

Surface Electromyography, Stroke, Upper Limb Rehabilitation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

表面肌电图(surface electromyography, sEMG)又称为动态肌电图(dynamic electromyography, DEMG) [1], 是将特定的电信号采集设备置于擦拭干净、无破溃的皮肤表面, 从而记录神经肌肉系统在活动或动作(静止、随意运动和非随意运动状态)时产生的生物电信号, 基于表面电极所放大、显示和记录的电信号较量表评定能够客观量化神经肌肉的活动状态, 同时具有安全、无创、无痛、简单、容易被患者接受以及能够实时监测肌肉活动状态的特点, 目前为运动医学、康复医学等方面的神经肌肉功能检查提供大量的参考性, 在相关疾病的诊断及康复治疗方面具有重要价值[2]。近年来, 随着人口老龄化和生活方式的改变, 脑卒中已成为全球主要的致残和致死原因之一[3], 且我国卒中发生率居于世界首位[4]。在中国, 每年新发脑卒中病例超过 200 万, 其中 85% 为缺血性脑卒中, 大约有 80% 的患者因为卒中后遗留残疾而不能独立生活[5]。脑卒中后可随之出现一系列的功能障碍如运动功能、感觉功能、认知、情绪、言语、吞咽等障碍, 而患侧肢体功能障碍是该病最常见的并发症之一, 通常会出现患侧上肢屈曲, 严重妨碍患侧上肢肌肉功能, 患者的生活自理能力明显缺失, 严重影响生活质量和后续更进一步的康复治疗[6]。本文对 sEMG 在脑卒中后上肢功能康复中的评估及应用进行总结整理, 论证了 sEMG 对于脑卒中后上肢功能障碍患者的价值。

2. 常用指标及临床意义

通常可分为时域性指标和频域性指标[7]。时域性指标包括平均肌电值(AEMG)、积分肌电值(IEMG)及均方根值(RMS), 时域性指标具有较高的识别精度和较少的计算量[7]。IEMG 指在一定时间内肌肉活动的运动单位放电总量, 该指标依据时间不变的条件, 肌肉持续活动的时间越久, 肌肉的放电总量越少, 故而该指标可反映肌肉的收缩特性[8]; AEMG 及 RMS 可反映肌肉活动时运动单位数量, 常用于反映肌张力及肌力[9]。频域性指标包括平均功率频率(MPF)和中位频率(MF), 一般而言, 测定 MPF 指标与运动单位发生动作电位的传导速度、运动单位类型以及同步化程度密切相关, 因此该指标常用于反映表面肌电信号的频率特性, MF 指在骨骼肌收缩时, 测定肌纤维放电频率的中间值, 由于肌肉组织中的快肌纤

维和慢肌纤维的组成比例不同,因此正常骨骼肌之间 MF 值大小存在一定差异[10],MF 常被用来反映骨骼肌对于疲劳的耐受性,MPF 和 MF 能够作为康复治疗中判断肌肉活动后疲劳程度的常用指标[11]。

3. 在脑卒中后上肢功能康复中的应用

3.1. 评估康复效果

目前评估偏瘫患者上肢功能及康复疗效主要由治疗师完成,通常以治疗师的临床工作经验为基础,评估结果存在较多主观因素,对患者的康复情况难以确定,而 sEMG 信号可以客观量化各种运动状态下的神经肌肉活动状态,广泛应用于临床以评估治疗效果。学者梁成盼[12]等对脑卒中偏瘫患者进行上肢常规康复训练同时辅以多通道功能性电刺激治疗,对患者上肢康复治疗前及治疗 4 周后的肱二头肌、肱三头肌表面肌电均方根值、协同收缩率进行记录并分析,发现上述指标均较治疗前明显降低,该实验表明多通道功能性电刺激治疗对脑卒中后上肢偏瘫患者有效,可得出表面肌电图可反映患者治疗前后上肢功能改善情况的结论。国内学者朱琳等[9]比较了两组脑卒中患者进行不同康复方法治疗前后的 sEMG 指标,结果表明,机器人辅助训练可以通过增加肘关节主动伸展角度进而有效改善脑卒中患者上肢屈肌痉挛,协调上肢系统张力平衡。学者李瑞青等[13]通过刺激督脉大椎、神道、筋缩、命门、腰阳关,并通过测量治疗前后肱二头肌、肱三头肌的均方根值,结果显示,在督脉上选取相应的穴位进行电针治疗,该治疗方法可有效缓解脑卒中患者偏瘫上肢的痉挛,并且降低上肢肌张力。

3.2. 评估肌肉疲劳

疲劳是指一种主观的身体或精神能量的缺乏,这种缺乏会干扰正常和期望的活动,休息时不能缓解,肌肉疲劳指无法完成正常强度的肌肉活动,大约有 50%的脑卒中患者会出现肌肉疲劳,卒中后疲劳可能与个人情况(如年龄、性别、受教育水平、生活及就业情况)、卒中特点(发生脑卒中的部位、次数、类型)及既往病史(糖尿病、偏头痛)有关[14][15],脑卒中患者上肢肌肉疲劳可能导致运动控制能力下降和康复效果不佳。目前临床上常使用疲劳严重度量表(FSS)、个人疲劳强度问卷(CIS)、疲劳影响量表(FIS)评估肌肉疲劳程度,但存在较大的主观性,且 FSS 量表无法评价患者认知功能和社会功能的实现能力,CIS 量表对患者的反应能力变化不敏感,FIS 量表尚不能将慢性疲劳与抑郁症作出区分,同时在合并注意力障碍的患者中使用受限等缺点,而表面肌电图可以实时监测肌肉收缩和放松过程中的生物电信号变化,可记录患者在康复训练过程中随着肌肉疲劳程度的加重而出现不同的特征,从而评估患者肌肉的疲劳程度[16]。目前大多数对于脑卒中后偏瘫患者的上肢功能障碍评定均由康复治疗师评估,这种评估以康复治疗师的临床工作经验为主,即经验性评估,最后的评估结果中不可避免地存在着较强的主观性,导致难以确定患者行康复治疗后的实际恢复情况[17]。国外学者 Shweta Kotwani 等[18]通过对 80 例受试者进行最大收缩强度下等长收缩诱发肌肉疲劳,可得出与上述结果一致的结论,且该结果与主观疲劳量表:视觉模拟疲劳量表(VAFS)及疲劳严重程度量表(FSS)结果一致。有研究发现[19]通过选取 5 个不同脑卒中 Brunnstrom 分期的 14 例患者作为实验对象,分析患侧上肢三角肌及指伸肌表面肌电信号,结果表明,当肌肉疲劳度增加时,表面肌电信号频谱左移,而中位频率和 MNF 下降,表明存在肌肉疲劳。

3.3. 评估肌肉功能

脑卒中后遗症中最常发生的是肢体偏瘫,在大多数情况下患者会出现上肢屈曲,上肢不能伸直,下肢过度伸直,行走困难等症状,严重影响患者的肌肉功能,日常生活动作难以完成,严重降低患者生活质量[20]。关于上肢肌肉功能的评估方法包括肌力、肌张力检查,目前在康复领域中普遍使用的评估方案包括徒手肌力检查及改良 Ashworth 量表等,虽耗时短且简便易行,但由于需要患者执行不同的动作来评

估肌肉功能, 不可避免地导致一些患者完成某个动作较好的情况可能会被掩盖, 因此会出现完成执行动作与量表评估相关性较低的情况[21], 且目前尚不能划分出严谨、科学的标准, 不利于后续的康复治疗方案的开展, 而表面肌电图可解决这一缺点。表面肌电图可定量检测神经传导速度、反映神经肌肉兴奋程度及运动单位同步化募集, 是评估肌肉功能的常用方法[22]。有研究结论表明[6], 脑卒中患者的偏瘫程度与患侧肢体肌肉如斜方肌、三角肌前束、肱二头肌、肱三头肌的表面肌电值相关, 即通过 sEMG 指标可明确患者偏瘫肢体肌肉功能现状, 对后期更进一步的康复训练起着举足轻重的作用。学者何龙龙[23]等通过表面肌电图检测治疗后脑卒中偏瘫患者患手腕屈肌、腕伸肌、指伸肌、拇短展肌的 RMS、iEMG 指标, 发现上述指标与 FMA 量表评估呈正相关, 说明 sEMG 用于评估脑卒中后手部肌肉功能较量表评估更为科学和客观。有研究发现[24], sEMG 可发现肌肉在屈曲、外展等不同运动状态下电信号的差异, 同样表明 sEMG 能够为临床评估后续治疗提供参考。

3.4. 评估肌肉痉挛

痉挛是一种常见的感觉运动控制障碍, 其特征是上运动神经元损伤后脊髓抑制和兴奋输入失衡引起的拉伸反射反应增加[25], 最终导致肌肉呈过度牵张状态, 通常表现为屈肌痉挛。脑卒中后痉挛的发生可能与皮质脊髓系统的可塑性及卒中后脊髓上下通路的改变有关, 脊髓上下通路中任意部位出现异常均会导致痉挛的发生[26]。肌肉痉挛是影响脑卒中后患者上肢功能障碍恢复的重要因素, 肌肉痉挛常发生于脑卒中发病后 3 周内, 发生率高达 90%, 出现上肢痉挛的病人远多于下肢[27], 上肢肌肉痉挛好发于肘部、腕部和肩部等部位, 易并发关节僵硬、肌无力、疼痛等不适, 继而出现姿势异常, 严重的患者常导致上肢酸痛和关节挛缩甚至畸形[28]。肌肉痉挛后上肢运动功能障碍严重阻碍患者肢体运动功能的恢复和精细动作的完成, 同时影响患者的日常生活自理能力, 以及增加患者的家庭和经济负担[13]。近年来, 临床上普遍使用的评估上肢痉挛的量表包括 Ashworth 痉挛量表(ASS)及改良 Ashworth 痉挛量表(MAS)。学者杨志文[29]等通过比较上肢痉挛病例治疗前后表面肌电图 F 波参数(出现频率、阈值、波幅)及 M 波波幅发现, F 波阈值较治疗前降低、F 波波幅、F 波出现频率、M 波波幅较治疗前增高, 且表面肌电图评估结果与 MAS 量表评估肌肉痉挛结果一致, 这表明 sEMG 对肌肉痉挛进行评估更有客观性, 为表面肌电图可对肌肉痉挛进行分析提供了理论依据。同时也有研究发现 F 波波幅、出现率、F 波与 M 波的比值与痉挛状态的严重程度成正相关[30]。研究发现[31], 表面肌电图的 iEMG 指标可了解脑卒中后肌肉痉挛的改善情况, 从而改善患者肌肉的运动功能。

4. 应用与挑战

表面肌电图作为一种非侵入性的生物反馈技术, 因其客观性、实时性、可操作性强的特点而广泛应用于康复领域。首先, 表面肌电图可以实时、无创地监测患者的肌肉活动状态, 为康复治疗师提供了重要的参考依据; 其次, 通过对表面肌电信号的分析, 可以准确地评估患者的肌肉功能恢复情况, 从而调整康复训练方案; 最后, 表面肌电图技术还可以帮助康复治疗师发现潜在的问题, 如肌肉疲劳、关节僵硬等, 以便及时采取措施进行干预。表面肌电图不仅可用于评估上肢功能障碍的康复, 还可用于脑卒中后吞咽功能障碍、肩痛、慢性非特异性腰痛、腰椎间盘突出等的评定[32] [33] [34] [35]。研究发现[36] sEMG 可用于检测先天性肌性斜颈儿童颈部肌肉的功能, 也可判断先天性肌性斜颈儿童胸锁乳突肌功能是否异常。学者秦媚等[37]研究发现, sEMG 也可用于评估产妇特别是阴道分娩产妇的盆底肌肉功能, 同时对筛查盆底功能障碍性疾病具有诊断价值, 以便于后期尽早开展盆底肌锻炼。学者丁玉菊等[38]研究表明, sEMG 的动作电位振幅指标可客观量化周围性面瘫患者的面部肌肉协调性。相关研究[39]还发现 sEMG 可作为鉴别帕金森病震颤与特发性震颤的重要检测手段, 从而早期明确诊断并对症治疗。sEMG 还可用于

帕金森患者吞咽功能障碍的评估,通过评估患者做吞咽动作时各个肌肉(如咬肌、口轮匝肌等)的活动顺序,能够确定发生吞咽障碍的部位,但不能确定功能异常的较小的肌肉[40]。除上述方面的应用,sEMG在慢性腰肌劳损、颈椎病、脑瘫、癫痫、颞下颌关节紊乱等疾病中均有评估价值。关于表面肌电图的挑战:首先,虽然表面肌电图可以客观地评估患者的运动功能和肌肉力量,但其结果受到多种因素的影响,如肌肉疲劳、电极放置位置,因此,如何准确地测量肌肉电活动仍然是一个亟待解决的问题。其次,虽然一些研究表明表面肌电图可以作为脑卒中后上肢功能障碍康复的有效工具,但其长期疗效尚需进一步研究。最后,提高患者对康复治疗的依从性和积极性,以及如何降低康复治疗的成本和风险,也是影响表面肌电图在康复治疗中广泛应用的关键因素。

5. 展望

随着我国脑卒中发病率不断上升,康复治疗及疗效评估对于脑卒中患者愈发重要,表面肌电技术在脑卒中上肢功能障碍康复中具有广阔的前景和发展空间,然而,为了更好地发挥表面肌电技术对患者的作用,还需要解决一系列的技术挑战,希望未来能有更多的研究投入到这一领域,旨在为脑卒中患者带来更好的康复效果。

参考文献

- [1] 罗梦,周国平,杨路,等.表面肌电图在脑卒中后运动功能障碍康复中的应用[J].中国康复,2017,32(1):67-70.
- [2] Liu K, Yin M, Cai Z. (2022) Research and Application Advances in Rehabilitation Assessment of Stroke. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 23, 625-641. <https://doi.org/10.1631/jzus.B2100999>
- [3] 《中国脑卒中防治报告》编写组.《中国脑卒中防治报告2020》概要[J].中国脑血管病杂志,2022,19(2):136-144.
- [4] 郑思婷,何春渝,周均,等.脑卒中康复现状与健康管理研究进展[J].实用医院临床杂志,2023,20(3):181-184.
- [5] 张通.中国脑卒中康复治疗指南(2011完全版)[J].中国康复理论与实践,2012,18(4):301-318.
- [6] 马玲,刘悦.表面肌电图在脑卒中偏瘫患者功能评价中的应用[J].医药论坛杂志,2021,42(14):72-74.
- [7] Jiang, H., Li, Y., Zhou, Y. and Liu, H.H. (2018) Comparative Analysis of Surface Electromyography Features on Bilateral Upper Limbs for Stroke Evaluation: A Preliminary Study. In: Chen, Z., Mendes, A., Yan, Y. and Chen, S., Eds., *ICIRA 2018: Intelligent Robotics and Applications*, Springer, Cham, 255-263. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97586-3_23
- [8] 戴璐璐,章茜,饶高峰.踝足矫形器辅助本体感觉训练对脑卒中后偏瘫患者运动功能及表面肌电图的影响[J].中国康复,2019,34(06):287-290.
- [9] 朱琳,席艳玲,黄海霞,等.机器人辅助训练对脑卒中患者上肢屈肌痉挛的疗效观察及表面肌电图分析[J].中国康复医学杂志,2020,35(8):954-958.
- [10] 郑洁皎,胡佑红,俞卓伟.表面肌电图在神经肌肉功能评定中的应用[J].中国康复理论与实践,2007,13(8):741-742.
- [11] 吕文,张锦明,吕政,等.表面肌电图在偏瘫患者下肢肌肉动力学分析中的应用[J].医学综述,2020,26(24):4883-4886,4891.
- [12] 梁成盼,丁文娟,黄桂兰,等.多通道功能性电刺激对脑卒中上肢运动功能的疗效及表面肌电特征研究[J].中国康复医学杂志,2021,36(9):1127-1130.
- [13] 李瑞青,刘承梅,席建明,等.督脉电针治疗脑卒中后上肢痉挛的临床疗效和表面肌电图特征研究[J].中国康复医学杂志,2019,34(10):1157-1161,1167.
- [14] 李昱,彭敏,余浩佳,等.脑梗死后早期疲劳的发生率及其相关危险因素[J].医学与哲学,2018,39(6):42-45.
- [15] 高星乐,陈力宇,孙乐球,等.脑梗死后遗症期疲劳及其影响因素的调查[J].中国临床保健杂志,2016,19(1):40-43.
- [16] 任思强,张茜,代玉玺,等.脑卒中患者躯体疲劳评价方法的研究进展[J].中国全科医学,2021,24(36):4661-4664,4670.
- [17] 臧爽,崔赢,倪翠萍,等.卒中后疲劳评估工具的范围综述[J].中华护理杂志,2023,58(1):46-54.

- [18] Kotwani, S., Gadgil, S. and Ranade, P. (2018) Comparison of Neuromuscular Fatigue in Chronic Stroke Patients with Healthy Controls. *Clinical Investigation*, **8**, 139-145. <https://doi.org/10.4172/Clinical-Investigation.1000140>
- [19] Tu, Y., Zhang, Z., Gu, X. and Fang, Q. (2016) Surface Electromyography Based Muscle Fatigue Analysis for Stroke Patients at Different Brunnstrom Stages. 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Orlando, 16-20 August 2016, 3781-3784. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591551>
- [20] 卫恒, 姚晓东. 脑卒中偏瘫病人生活质量影响因素的研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2020, 18(14): 2268-2273.
- [21] 朱海杰, 龚立君, 严浩硕, 等. 脑卒中偏瘫患者上肢肌肉功能表面肌电图评价[J]. 全科医学临床与教育, 2017, 15(4): 401-403, 408.
- [22] 李宇淇, 黄国志, 路鹏程, 等. 上肢康复机器人联合上肢康复训练对脑卒中恢复期偏瘫患者的影响[J]. 康复学报, 2022, 32(2): 111-116.
- [23] 何龙龙, 黄国志, 曾庆, 等. 脑卒中偏瘫患者手功能的表面肌电图评价[J]. 中国康复理论与实践, 2018, 24(12): 1388-1392.
- [24] 卢惠苹, 陈瑞华, 张高飞, 等. 半月板损伤患者膝周肌肉的表面肌电图分析[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(0): 586-589.
- [25] Veysel, A., Rahmi, C.M. and Murat, Z. (2017) Using Fuzzy Logic for Diagnosis and Classification of Spasticity. *Turkish Journal of Medical Sciences*, **47**, 148-160. <https://doi.org/10.3906/sag-1512-65>
- [26] 陈楠, 华艳, 白玉龙. 卒中后痉挛状态发生机制的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(5): 588-594.
- [27] 王光益, 王玉龙, 龙建军, 等. 督脉电针治疗脑卒中后上肢痉挛的疗效及对表面肌电图的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2021, 19(23): 4145-4148.
- [28] 罗丽华, 吴东宇, 王雨生, 等. 重复经颅磁刺激联合发散式冲击波治疗创伤性脊髓损伤患者肌肉痉挛的疗效观察[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(12): 1663-1668.
- [29] 杨志文, 牟杨, 侯爱莲, 等. 经筋电针对脑卒中后上肢痉挛患者干预的临床疗效[J]. 西部医学, 2023, 35(6): 899-903.
- [30] 朱兴国, 王红星. 痉挛的产生及物理因子治疗机制的研究进展[J]. 中国康复, 2022, 37(1): 57-60.
- [31] 张佩, 赵高年. 重复性外周磁刺激对脑卒中瘫痪上肢屈肘肌痉挛的影响[J]. 泰州职业技术学院学报, 2023, 23(2): 78-82.
- [32] 秦路峰, 焦丰叶, 彭玲, 等. 表面肌电技术在临床康复中的应用进展[J]. 青岛医药卫生, 2023, 55(5): 350-352.
- [33] 刘雅玲, 王莹, 曹榕娟. 脑卒中后吞咽障碍患者的皮内针埋针治疗效果及对吞咽功能、表面肌电图的影响[J]. 按摩与康复医学, 2023, 14(11): 1-4, 8.
- [34] 严鹭慧, 张辰希, 骆斌, 等. 表面肌电图在肩痛康复评定和治疗中的应用[J]. 医学综述, 2022, 28(3): 543-547, 553.
- [35] Marzena, R., Małgorzata, W., Ewa, Ś., et al. (2023) In Search of Biomarkers for Low Back Pain: Can Traction Therapy Effectiveness Be Prognosed by Surface Electromyography or Blood Parameters? *Frontiers in Physiology*, **14**, Article 1290409. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1290409>
- [36] 冯雪菲, 刘苑, 龚德志, 等. 临床研究表面肌电图在先天性肌性斜颈儿童中的诊断价值及临床应用[J]. 解放军医学杂志, 2023, 48(12): 1433-1438.
- [37] 秦媚, 姚波, 游坤. 产后盆底肌功能筛查对盆底功能障碍性疾病的诊断价值[J]. 广西医学, 2023, 45(12): 1427-1431, 1448.
- [38] 丁玉菊, 刘照勇, 何晓云, 等. 滞针提拉法治疗顽固性面瘫的疗效及对表面肌电图的影响[J]. 针灸临床杂志, 2023, 39(7): 42-46.
- [39] 黄菲菲, 张斌, 吴丹红, 等. 加速度测量和表面肌电图检测对帕金森病震颤与特发性震颤的鉴别诊断价值[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2017, 37(1): 34-38.
- [40] 王萍, 王波, 熊冰, 等. 帕金森病患者吞咽障碍评估的研究进展[J]. 中华神经科杂志, 2023, 56(3): 351-358.